

BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-007998

(43)Date of publication of application : 10.01.2003

(51)Int.Cl.

H01L 29/205

H01L 33/00

H01S 5/323

(21)Application number : 2001-190357

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 22.06.2001

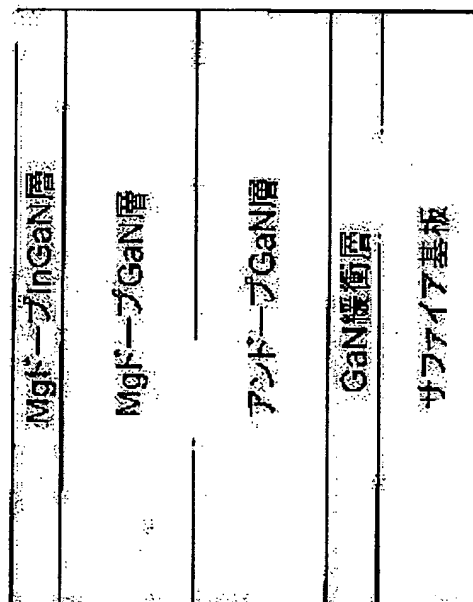
(72)Inventor : KUMAKURA KAZUhide
MAKIMOTO TOSHIKI
KOBAYASHI NAOKI

(54) LOW-RESISTANCE NITRIDE SEMICONDUCTOR AND ITS MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a p-type nitride semiconductor structure having a high hole concentration and low resistance and to provide a method of manufacturing the structure.

SOLUTION: The semiconductor structure is constituted of nitride semiconductors doped with a p-type impurity. In the structure, a semiconductor 1 having a lattice constant a1 and another semiconductor 2 having a different lattice constant a2 are joined together in a lattice strain containing state. More than 5% of the dopant contained in the semiconductor 1 is activated. The activating heat treatment for activating the dopant is performed at a temperature of $\geq 600^{\circ}\text{C}$ in the joined state.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-7998

(P2003-7998A)

(43) 公開日 平成15年1月10日 (2003.1.10)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード* (参考)
H 0 1 L 29/205		H 0 1 L 29/205	5 F 0 4 1
33/00		33/00	C 5 F 0 7 3
H 0 1 S 5/323	6 1 0	H 0 1 S 5/323	6 1 0

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2001-190357(P2001-190357)

(22) 出願日 平成13年6月22日 (2001.6.22)

特許法第30条第1項適用申請有り 2001年3月28日
 (社) 応用物理学会発行の「2001年(平成13年)春季
 第48回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集 第1分
 冊」に発表

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 熊倉 一英

東京都千代田区大手町二丁目3番1号日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 牧本 俊樹

東京都千代田区大手町二丁目3番1号日本
電信電話株式会社内

(74) 代理人 100088096

弁理士 福森 久夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低抵抗窒化物半導体およびその作製方法

(57) 【要約】

【課題】 高い正孔濃度で、低抵抗のp型窒化物半導体構造およびその作製方法を提供すること。

【解決手段】 p型不純物をドーピングした窒化物半導体で構成され、格子定数a1を有する半導体1とa1とは異なる格子定数a2を有する半導体2が格子歪を含んだ状態で接合し、窒化物半導体1のドーパントが5%以上活性化していることを特徴とする。接合状態で600℃以上の温度で活性化熱処理を行う。

MgドーピングInGaN層	MgドーピングGaIn層	アンドープGaIn層	GaN緩衝層	サファイア基板
---------------	--------------	------------	--------	---------

【特許請求の範囲】

【請求項1】 p型不純物をドーピングした窒化物半導体で構成され、格子定数 a_1 を有する半導体1と a_1 とは異なる格子定数 a_2 を有する半導体2とが格子歪を含んだ状態で接合し、半導体1のドーパントが5%以上活性化していることを特徴とする低抵抗窒化物半導体。

【請求項2】 半導体1がGa_{1-x}Nで半導体2がIn_xGaNであることを特徴とする請求項1記載の低抵抗窒化物半導体。

【請求項3】 半導体1がAlGa_{1-x}Nで半導体2がGa_xNであることを特徴とする請求項1記載の低抵抗窒化物半導体。

【請求項4】 半導体1がAlGa_{1-x}Nで半導体2がIn_xGaNであることを特徴とする請求項1記載の低抵抗窒化物半導体。

【請求項5】 前記ドーパントはMgもしくはCであることを特徴とする請求項1ないし3のいずれか1項記載の低抵抗窒化物半導体。

【請求項6】 p型不純物をドーピングした格子定数 a_1 を有する半導体1上に、 a_1 とは異なる格子定数 a_2 を有する半導体2を格子歪を含んだ状態で接合し、次いで、ドーパントを活性化するための熱処理を行うことを特徴とする低抵抗窒化物半導体の作製方法。

【請求項7】 前記熱処理を600℃以上の温度で行うことを特徴とする請求項6記載の低抵抗窒化物半導体の作成方法。

【請求項8】 半導体1がGa_{1-x}Nで半導体2がIn_xGaNであることを特徴とする請求項6又は7記載の低抵抗窒化物半導体の作製方法。

【請求項9】 半導体1がAlGa_{1-x}Nで半導体2がGa_xNであることを特徴とする請求項6又は7記載の低抵抗窒化物半導体の作製方法。

【請求項10】 半導体1がAlGa_{1-x}Nで半導体2がIn_xGaNであることを特徴とする請求項6又は7記載の低抵抗窒化物半導体の作製方法。

【請求項11】 前記ドーパントはMgもしくはCであることを特徴とする請求項6ないし10のいずれか1項記載の低抵抗窒化物半導体の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 窒化物半導体をベースとした緑～紫外領域発光デバイスや高出力電子デバイス等を作製する際には、p型窒化物半導体のキャリア濃度を高くし抵抗を下げることで、デバイス特性向上のためにも必要である。とくに禁制帯幅の広い半導体において高濃度化を図ることは、光や電子の閉じ込めに対しても有効である。本発明は、このような窒化物半導体の高濃度p型層を作製するための構造およびその作製方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 高濃度p型窒化物半導体の作製に関する研究が盛んに行われている。これは、p型窒化物半導体層は、その抵抗が高いため発熱したり、キャリア濃度が低いと良好なオーミック接合の形成が困難となりデバイスの閾値が上昇したり、デバイス特性に悪影響を及ぼすからである。これまで、p型窒化物半導体の作製には、アクセプタとしてMg原子が用いられている。また、このアクセプタの活性化のために、以下のような方法が報告されている。

【0003】 ①電子線励起により励起する。

【0004】 ②高周波を印加する。

【0005】 ③窒素雰囲気下で熱処理する。

【0006】 ④から⑥のいずれの方法も、Mg-Hの結合を断ち切り、Mgアクセプタを活性化する方法である。現状では、最も簡便な方法である⑥が主流となっている。

【0007】 また、Mgアクセプタの活性化のために半導体表面に金属触媒層を用いる方法が報告されている

(脇、藤岡、尾嶋 平成13年春季第48回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集p. 416-31p-K-3)。この方法は、MgをドーピングしたGa_{1-x}N表面にNiを薄く真空蒸着した後、熱処理を行うものである。従来の熱処理では、その温度が約600度以上でないとMgアクセプタは活性化しなかったが、薄いNi触媒層を用いる方法では、200度という低温でもMgアクセプタが活性化する。これは、薄いNiが金属触媒層として働き、Ga_{1-x}N表面で水素の脱離を促進するため、低温でもMgアクセプタが活性化するものと考えられている。しかしながら、Ni触媒層を用いた場合でも、得られる正孔濃度は触媒層を用いない場合と同じである。

【0008】 一方、高濃度p型層を作製するための方法としては、以下のような報告がある。

【0009】 ⑦禁制帯幅の狭い(誘電率の大きい)窒化物半導体を用いる。

【0010】 ⑧同時ドーピング法を用いる方法。つまり、n型のドーパントとp型のドーパント(n型ドーパント<p型ドーパント)を同時にドーピングし、ドナー・アクセプタペアを形成し安定化させるとともに、過剰なアクセプタを高濃度まで安定化させる方法である。

【0011】 ⑨の方法では、一般的にGa_{1-x}Nよりも禁制帯幅の狭いIn_xGaNが用いられる。In_xGaNはGa_{1-x}Nよりも誘電率が大きいために、水素原子モデルから計算される正孔の束縛エネルギーが小さくなる。このため、アクセプタの活性化エネルギーは、Ga_{1-x}NよりもIn_xGaNのほうが小さくなることが予想される。実験的にもIn_xGaNの正孔濃度の温度特性から求めたアクセプタの活性化エネルギーは、Ga_{1-x}Nよりも小さく、室温で 10^{18} cm^{-3} を超える正孔濃度が実現されている(K. Kumakura, T. Makimoto and N. Kobayashi, Jpn. Appl. Phys. 39(2000)L337.)。

【0012】しかしながら、この方法では禁制帯幅の狭い半導体を用いるため、半導体で光あるいは電子を閉じ込める構造、例えば半導体レーザーの光閉じ込め層や、電子デバイスにおける電子や正孔を閉じ込める為の障壁層に利用することができない。

【0013】また、⑤の方法では、ドナー・アクセプタ対を形成するために、p型不純物だけでなく、ほぼ同量のn型不純物を半導体中にドーピングする。このため、高濃度のp型層を作製するためには通常の作製方法の2倍以上の不純物をドーピングしなければならない。その結果、成長表面の平坦性が悪くなり、デバイスの活性層近傍には利用できない。

【0014】一方、MgドーブGaN上に薄いMgドーブInGaN層を成長した構造によって、電極と半導体との間の接触抵抗を低減する報告もなされている（熊倉、牧本、小林 平成13年春季第48回応用物理学関係連合講演会 講演予稿集p. 415-31a-K-11）。一般的に、半導体のキャリア濃度が増加することで接触抵抗は減少する。この系では、薄い歪InGaN層において発生する分極電界によって、半導体表面でバンド構造が急峻に変化する。その結果、金属-半導体界面に発生する障壁の幅が薄くなり、電流が流れ易くなる。そのため金属-半導体界面での接触抵抗が減少することになる。つまりこの方法は、MgドーブGaN自体の抵抗の減少とは関係なく、半導体表面でのバンド構造がその抵抗を決定していると言うものである。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】発明の目的は、窒化物半導体において、Mgアクセプタの活性化エネルギーが大きいために（GaNで170meV）、室温で高い正孔濃度が得られなかった点を解決し、高い正孔濃度で、p型の低抵抗窒化物半導体及びその作製方法を提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の低抵抗窒化物半導体は、p型不純物をドーピングした窒化物半導体で構成され、格子定数a1を有する半導体1とa1とは異なる格子定数a2を有する半導体2とが格子歪を含んだ状態で接合し、半導体1のドーパントが5%以上活性化していることを特徴とする。

【0017】本発明の低抵抗窒化物半導体の作製方法は、p型不純物をドーピングした格子定数a1を有する半導体1上に、a1とは異なる格子定数a2を有する半導体2を格子歪を含んだ状態で接合し、次いで、ドーパントを活性化するための熱処理を行うことを特徴とする。

【0018】

【作用】MgをドーピングしたGaNの表面に薄いMgをドーピングしたInGaNを成長すると、膜厚が薄い場合、InGaNは格子緩和せずに歪んだ状態を保つ。

この表面での歪の効果により、MgをドーピングしたGaN中におけるMgは格子間などの不適切な位置に入らず、格子欠陥が減少する。したがって、アクセプタとして働くMg原子の濃度が増加し正孔濃度が増加するようになる。

【0019】従来の技術とは、半導体表面に薄い半導体格子歪層が存在する点が異なる。従来の技術においては、活性化熱処理を行ったとしても活性化率はよくても2%程度であり、従って、高濃度の正孔密度を達成しようとする、初期の不純物のドーブ量を高くしなければならない。しかるに、ドーブ量が多くなると、格子間に不純物が入り込み、半導体層の品質の劣化を招いてしまう。

【0020】本発明においては、活性化率が5%以上と高いため、少ないドーブ量で（従って、結晶性の劣化を招くことなく）、高い正孔密度を達成することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】本発明においては、格子定数a1を有する半導体1とa1とは異なる格子定数a2を有する半導体2が格子歪を含んだ状態で接合する。

【0022】半導体1を形成する基板の種類は特に限定されない。例えばサファイア基板が好適に用いられる。基板と半導体1との間には、緩衝層、アンドープ層を介在せしめることが好ましい。

【0023】半導体1は窒化物半導体であるが、例えば、 $Al_aIn_bGa_cN_d$ ($0 \leq a, b, c, d \leq 1$) および $B_xAl_yN_z$ ($0 \leq x, y, z \leq 1$) その他の窒化物半導体が用いられる。

【0024】半導体1の形成方法も特に限定されないが、例えば、有機金属気相成長法が好ましい。

【0025】この半導体1には、p型不純物をドーブする。

【0026】ドーブする不純物としては、例えば、Mg、Cなどが上げられる。特に、Mgは活性化されやすく低濃度ドーブで高い正孔密度を達成する上で好ましい。

【0027】本発明においては、活性化の効率が極めて高いため、過剰に不純物をドーブする必要がなく、従って、良好な結晶性を維持しつつ高い正孔密度を有する半導体を作製することができる。

【0028】本発明においては、p型不純物がドーブ半導体1上に、半導体1の格子定数a1とは異なる格子定数a2を有する半導体2を格子歪を含んだ状態で接合する。

【0029】「格子歪を含んだ状態」には部分格子緩和状態も含まれる。半導体2が格子歪を含んだ状態になるかどうかは、半導体1と半導体2との組成・組成比及び半導体2の膜厚により左右される。

【0030】例えば、GaN上にInGaNを接合した

場合を図3に、AlGaIn上にGaInを接合した場合を図5に、AlGaIn上にInGaInを接合した場合を図7に示すが、半導体1と半導体2との組成・組成比及び半導体2の膜厚により変化することがわかる。半導体1、半導体2としてこれら以外のものを使用する場合にも予め実験により、組成・組成比と膜厚による歪状態の図を求めておき、それに基づき格子歪を含んだ状態を実現すればよい。

【0031】なお、図3、5、7における「歪」領域は接合後における格子定数が異なる半導体1と半導体2との格子定数の差が約0の場合における領域である。「部分格子緩和」領域は、格子定数の差が-2%~+2%の領域である。

【0032】格子歪を含んだ状態で半導体2を接合した後、活性化熱処理を行う。活性化熱処理の温度としては、600℃以上の温度で行えば十分である。すなわち、600℃以上の熱処理によりドーパントが5%以上活性化する。ただ、950℃以下が好ましい。950℃を超えると半導体の表面が荒れてしまうことがある。

【0033】熱処理時間としては、1~30分が好ましく、5~15分がより好ましい。熱処理時間が短すぎると活性化が十分行われない場合があり、長すぎても効果が飽和してしまう。

【0034】半導体1あるいは半導体2において、InGaIn、AlGaInを用いる場合、In、Alの組成比は、0.1~0.2が好ましい。なお、In、Alの比を制御するには、有機金属気相成長時に、原材料中におけるIn、Alの量を制御するか、あるいは、成長温度の制御を行えばよい。

【0035】また、半導体2の膜厚は、例えば、図3、5、7に示す、組成比との関係から歪を有する領域内入るように設定すればよい。ただ、半導体2の膜厚が薄すぎると、熱処理時に半導体2が消失する場合もあるため、単原子層以上の厚さが好ましい。

【0036】また、半導体2にも不純物をドーピングすることが好ましい。半導体2中に不純物をドーピングすることにより、オーミックな電氣的接触を取ることが可能となる。ドーピング量としては、 $10^{19} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ が好ましい。

【0037】

【実施例】（実施例1）有機金属気相成長法を用いて、サファイア基板上にアンドープGaIn層を成長した後、MgドーブGaIn層を成長した。このときのMgのドーピング濃度は $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。その後、膜厚を変えてMgドーブInGaInを成長している。InGaInのIn組成は0.14である。サファイア基板上にMgドーブGaIn層およびInGaIn層を成長した場合の層構造を図1に示す。

【0038】MgドーブGaIn層までの層構造や成長条件は基板の種類によって異なるが、Mgドーブ層の成長

条件は基板の種類に依存しない。このため、MgドーブGaIn層の特性も基板に依存しないものとなる。

【0039】成長後、Mgアクセプタの活性化のため、窒素雰囲気において700℃で熱処理を施した。熱処理時間は10分とした。なお、窒化物半導体の熱処理は600℃以上の温度で行えば十分である。歪を誘起させたMgドーブInGaIn層の電気伝導の影響を無くすために、熱処理後ECRプラズマエッチングによってInGaIn層は取り除いている。

【0040】半導体への電氣的な接触を得るために、Pd/Au電極を蒸着し、電氣的な特性を評価した。図2に、MgドーブInGaIn層の膜厚を変えたときのMgドーブGaIn層中の抵抗率の変化を示す。通常の方法は、InGaIn層の膜厚が0の時である。MgドーブGaIn中の正孔濃度は $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であるが、InGaIn層を2nmあるいは5nm成長した場合は、正孔濃度が通常の3倍の $2.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ と増加した。

【0041】さらに、移動度も同様に $2.2 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ から $2.5 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ と増加している。抵抗率は、[正孔濃度×移動度]の逆数に比例するため、歪InGaIn層があることによりGaIn層の抵抗率は1/3以下となった。一方、InGaIn層の膜厚を厚くすると正孔濃度は減少し、InGaIn層がない場合と同じとなる。

【0042】図3に、InGaIn層中のIn組成と膜厚を変えた場合の、InGaIn層の歪・格子緩和の状態を計算した結果を示す。In組成が0.14の場合、その膜厚が2nmの場合は、InGaIn層は歪んだ状態である。

【0043】膜厚が5nmを超えるとInGaIn層は部分的に格子緩和しはじめ、さらに厚くなり15nmの場合は完全にInGaIn層は格子緩和している。したがって、MgドーブGaIn中の正孔濃度のInGaIn層の膜厚依存性は、熱処理中の表面での格子歪に敏感であることが分かる。このように表面に歪んだ層が存在することにより、Mgアクセプタの濃度自体が増加したものと考えられる。

【0044】このように、MgドーブGaIn中の正孔濃度を増加させるためには、図3に示すIn組成と膜厚による歪・格子緩和図で、歪領域もしくは部分格子緩和領域にあるInGaIn層をMgドーブGaIn層上に成長し、熱処理によってMgアクセプタを活性化することが望ましい。

【0045】本実施例においては、初期のドーブ量が、 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、熱処理後における正孔濃度が $2.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。従って、Mgの活性化率は、

$\{(2.4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}) / (2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3})\} \times 100 (\%) = 12 \%$

と極めて高い値が得られた。

【0046】（実施例2）実施例1から容易に推測されるように、MgドープGaN上のMgドープInGaNの代わりにMgドープAlGaN上のMgドープGaNでも同様な効果が得られる。構造図を図4に示す。AlGaN上のGaNの場合、GaN層の歪・格子緩和の状態を図5に示す。図5のAl組成とGaN膜厚に示すように、歪んだGaN層をMgドープAlGaN層上に成長し、熱処理によってMgアクセプタを活性化することが望ましい。

【0047】本実施例においてもMgの5%以上が活性化していた。

【0048】（実施例3）実施例1から容易に推測されるように、MgドープGaN上のMgドープInGaNの代わりにMgドープAlGaN上のMgドープInGaNでも同様な効果が得られる。構造図を図6に示す。AlGaN上のInGaNの場合、InGaN層の歪・格子緩和の状態を図7に示す。図7のAl組成とInGaN膜厚に示すように、歪んだInGaN層をMgドープAlGaN層上に成長し、熱処理によってMgアクセプタを活性化することが望ましい。本実施例においてもMgの5%以上が活性化していた。

【0049】（実施例4）本例では、Mgに代えCのドーピングを行った。他の点は、実施例1と同様とした。本例においては、Cの5%以上が活性化していた。

【0050】

【発明の効果】以上説明したように、MgドープGaN*

*層の上に歪MgドープInGaN層を成長し、あるいは、MgドープAlGaN層の上に歪MgドープGaN層を成長し、熱処理することにより、通常の1/3以下の抵抗率を得ることができる利点がある。

【0051】さらに本発明方法では、Mgアクセプタの実効的な濃度が増加しているため、Mgのドーピング量を実質的に抑えることが可能となり、窒化物半導体自体の結晶性の向上が見込まれる。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】サファイア基板上にMgドープGaN層およびInGaN層を成長した場合の構造図を示している。

【図2】MgドープInGaN層の膜厚を変えたときのMgドープGaN層中の正孔濃度の変化を示している。

【図3】InGaN層中のIn組成と膜厚を変えた場合の、InGaN層の歪・格子緩和の状態を計算した結果を示している。

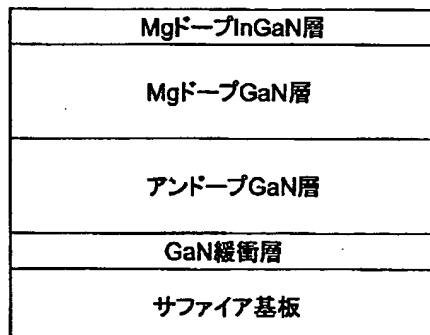
【図4】サファイア基板上にMgドープAlGaN層およびGaN層を成長した場合の構造図を示している。

20 【図5】AlGaN層のAl組成とその上のGaNの膜厚を変えた場合の、GaN層の歪・格子緩和の状態を計算した結果を示している。

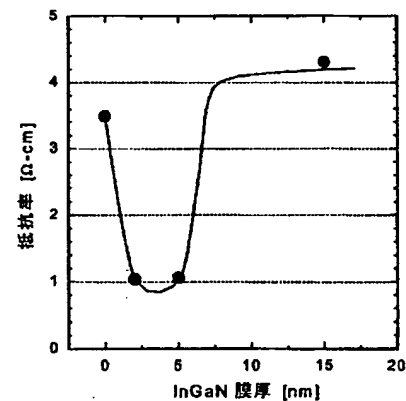
【図6】サファイア基板上にMgドープAlGaN層およびInGaN層を成長した場合の構造図を示している。

【図7】AlGaN層のAl組成とその上のInGaNの膜厚を変えた場合の、InGaN層の歪・格子緩和の状態を計算した結果を示している。

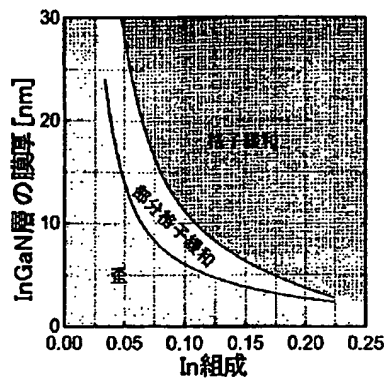
【図1】



【図2】



【図3】



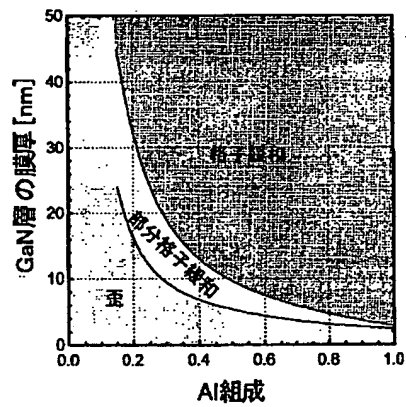
【図4】

MgドーブGa _{0.95} N層
MgドーブAlGa _{0.95} N層
アンドーブGa _{0.95} N層
GaN緩衝層
サファイア基板

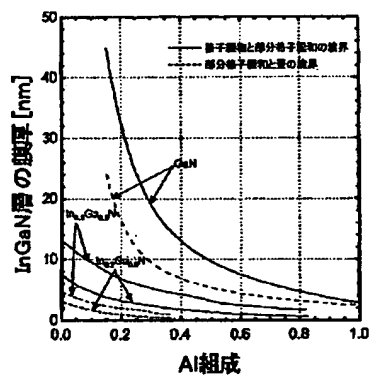
【図6】

MgドーブInGa _{0.95} N層
MgドーブAlGa _{0.95} N層
アンドーブGa _{0.95} N層
GaN緩衝層
サファイア基板

【図5】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 小林 直樹

東京都千代田区大手町二丁目3番1号日本
電信電話株式会社内

F ターム(参考) 5F041 AA21 CA34 CA40 CA46 CA49
CA57 CA65 CA73
5F073 CA07 CB05 CB07 CB19 DA05
DA12 DA35 EA29

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.